



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STAVEBNÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

**ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ**

INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

**NÁVRH ŽELEZNIČNÍHO RÁMOVÉHO MOSTU**

DESIGN OF RAILWAY FRAME BRIDGE

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. David Findura**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. Radim Nečas, Ph.D.**

**BRNO 2018**



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	N3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
<b>Pracoviště</b>	Ústav betonových a zděných konstrukcí

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Bc. David Findura
<b>Název</b>	Návrh železničního rámového mostu
<b>Vedoucí práce</b>	Ing. Radim Nečas, Ph.D.
<b>Datum zadání</b>	31. 3. 2017
<b>Datum odevzdání</b>	12. 1. 2018

V Brně dne 31. 3. 2017

---

prof. RNDr. Ing. Petr Štěpánek, CSc.  
Vedoucí ústavu

---

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## PODKLADY A LITERATURA

Podklady:

Situace, příčný a podélný řez, geotechnické poměry.

Základní normy:

ČSN 73 6201 Projektování mostních objektů.

ČSN 73 6214 Navrhování betonových mostních konstrukcí.

ČSN EN 1990 včetně změny A1: Zásady navrhování konstrukcí.

ČSN EN 1991-2: Zatížení mostů dopravou.

ČSN EN 1992-1-1: Navrhování betonových konstrukcí. Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.

ČSN EN 1992-2: Betonové mosty - Navrhování a konstrukční zásady.

Literatura doporučená vedoucím diplomové práce.

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Pro zadaný problém navrhnete dvě až tři varianty řešení a zhodnotíte je.

Ve výběru varianty se zaměřte na rámovou mostní konstrukci.

Podrobný návrh nosné konstrukce vybrané varianty mostu proveďte podle mezních stavů včetně zohlednění vlivu výstavby mostu na jeho návrh.

Ostatní úpravy provádějte podle pokynů vedoucího diplomové práce.

Požadované výstupy:

Textová část (obsahuje průvodní zprávu a ostatní náležitosti podle níže uvedených směrnic)

Přílohy textové části:

P1. Použité podklady a varianty řešení

P2. Výkresy (přehledné, podrobné a detaily v rozsahu určeném vedoucím diplomové práce)

P3. Stavební postup a vizualizace

P4. Statický výpočet (v rozsahu určeném vedoucím diplomové práce)

Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy VŠKP (1x).

Popisný soubor závěrečné práce (1x).

Diplomová práce bude odevzdána v listinné a elektronické formě podle směrnic a 1x na CD.

## STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).

2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

## **ABSTRAKT**

Tato práce řeší návrh dvoukolejného železničního rámového mostu přes údolí. Ze tří navrhovaných variant byla zvolena varianta 1 - předpjatá rámová konstrukce proměnného trémového průřezu. Dle platných norem EN byla konstrukce navržena a posouzena na mezní stavy použitelnosti a mezní stavy únosnosti.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Mostní konstrukce, předpjatá konstrukce, železniční most, rámový most, železobeton, statický výpočet, ztráty předpětí

## **ABSTRACT**

This thesis deals with a design of an two-track railway frame bridge over a valley. Out of three proposed variants was chosen the variant number 1 - prestressed frame construction with variable beam section. According to actual EN standards the construction was designed and assessed to the serviceability limit state and the ultimate limit state.

## **KEYWORDS**

Bridge construction, prestressed, construction, railway bridge, frame bridge, reinforced concrete, static calculation, losses in prestress

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP**

Bc. David Findura *Návrh železničního rámového mostu*. Brno, 2018. 22 s., 135 s. příl.  
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových  
a zděných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Radim Nečas, Ph.D.

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 12. 1. 2018

---

**Bc. David Findura**  
autor práce

**Poděkování:**

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu práce Ing. Radimovi Nečasovi, Ph.D. za odborné vedení, rady, ochotu a trpělivost v průběhu zpracování diplomové práce.

Děkuji také svým rodičům, celé rodině a všem přátelům za podporu a důvěru v průběhu celého studia.



## OBSAH

1 ÚVOD .....	3
2 GEOMETRIE MOSTU .....	4
3 MOSTNÍ VYBAVENÍ, ULOŽENÍ A MOSTNÍ ZÁVĚR .....	5
4 ŽELEZNIČNÍ SVRŠEK .....	5
5 MATERIÁL .....	6
5.1 BETON .....	6
5.2 BETONÁŘSKÁ VÝZTUŽ .....	6
5.3 PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽ .....	6
6 ZATÍŽENÍ .....	7
6.1 STÁLÉ .....	7
6.2 PROMĚNNÉ .....	7
7 PRUTOVÝ MODEL .....	8
8 VNITŘNÍ SÍLY .....	10
9 POSTUP VÝPOČTU A POSUDKY .....	12
10 POSTUP VÝSTAVBY A ČASOVÝ HARMONOGRAM .....	14
11 ZÁVĚR .....	14
12 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	15
13 SEZNAM PŘÍLOH .....	16



## 1 ÚVOD

Cílem této diplomové práce je návrh předpjatého rámového mostu převádějícího dvojkolejnou železniční trať 1. třídy přes údolí. Námět byl převzat od německé firmy SSF Ingenieure, která projektovala most Aurachtal severozápadně od Norimberku. Z tohoto projektu byl převzat tvar terénu a přibližný tvar konstrukce. Dále byla konstrukce projektována nezávisle. Celkové rozpětí, které bylo potřebné přemostit, bylo cca 200 m. Největší hloubka údolí od osy koleje byla 22,84 m.

Byly vypracovány 3 varianty mostních konstrukcí. 1. varianta - předpjatá rámová konstrukce trémového průřezu. Mezilehlé 3 pilíře připojeny k nosné konstrukci rámově, na obou koncích zvoleno posuvné podepření. 2. varianta - předpjatý komorový nosník uložený na posuvných ložiscích. 3. varianta - předpjatý dvoutrám taktéž uložený na posuvných ložiscích.

Primárním požadavkem byla volba předpjaté rámové konstrukce, proto byla vybrána varianta č. 1.

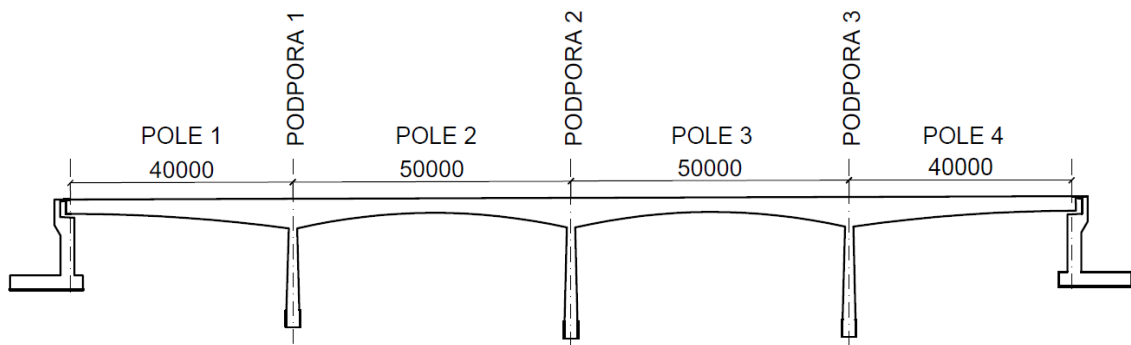
Statický výpočet byl proveden na základě prutového modelu. Předmětem statického výpočtu byl návrh předpětí, posouzení nosné konstrukce na mezní stav použitelnosti a mezní stav únosnosti, dále posouzení na smyk a návrh smykové výztuže, posouzení a návrh kotevní oblasti, návrh výztuže v příčném směru, posouzení konzoly T-průřezu, posudek na únavu, prověření dynamických účinků a rezonance.

Zatížení konstrukce bylo provedeno dle ČSN EN 1991-2 - Zatížení mostů dopravou. Předpjatá nosná konstrukce byla dimenzována dle ČSN EN 1992 - Navrhování betonových konstrukcí.

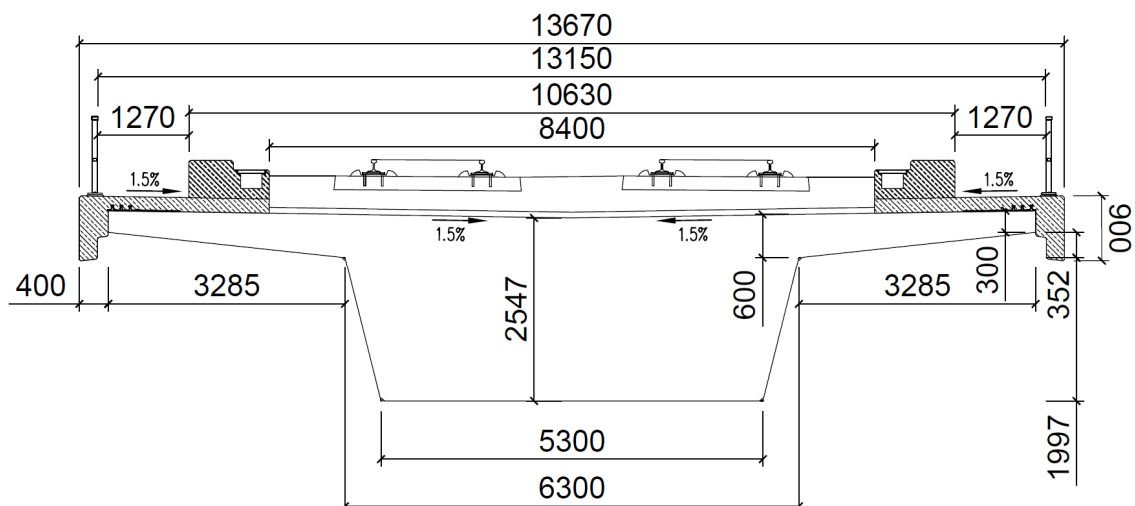
Tato diplomová práce je doplněna dalšími přílohami. Návrhem variant řešení, statickým výpočtem, výkresovou dokumentací obsahující půdorys, podélný řez, 2 příčné řezy, výkres betonářské výztuže a výkres předpínací výztuže. Dále byla vytvořena vizualizace v programu SketchUp a LUMION 3D.

## 2 GEOMETRIE MOSTU

Z tvaru údolí byl navržen podélný tvar mostu. Byly navrženy 4 pole o délkách 40 m, 50 m, 50 m a 40 m.



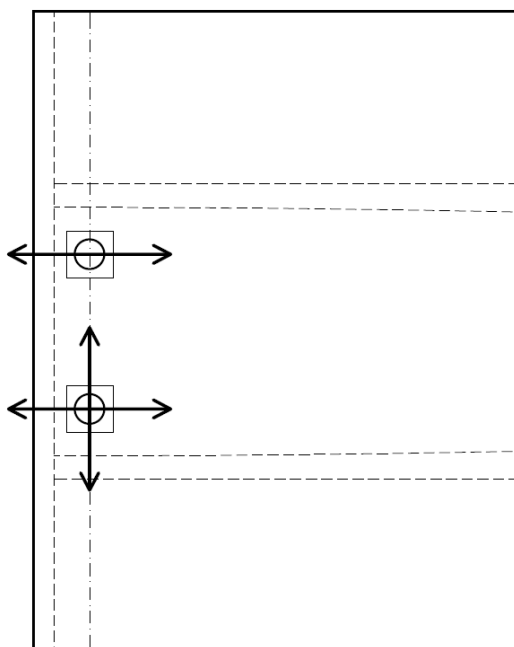
Šířkové upřádání mostu bylo odvozeno z průjezdného profilu požadovaného pro danou trať. Celková šířka nosné konstrukce byla navržena 12,87 m. Průřez tvoří jeden trám proměnné výšky 2,60 - 5,30 m a šířky na spodním líci 5,30 - 3,90 m. Šířka na styku s deskou je konstantní 6,30 m. Deska s dostředným sklonem 1,5 % je výšky 0,55 m uprostřed a šikmo se zužuje ke koncům až na 0,30 m. Geometrie průřezu je jasná z následujícího obrázku:



### 3 MOSTNÍ VYBAVENÍ, ULOŽENÍ A MOSTNÍ ZÁVĚR

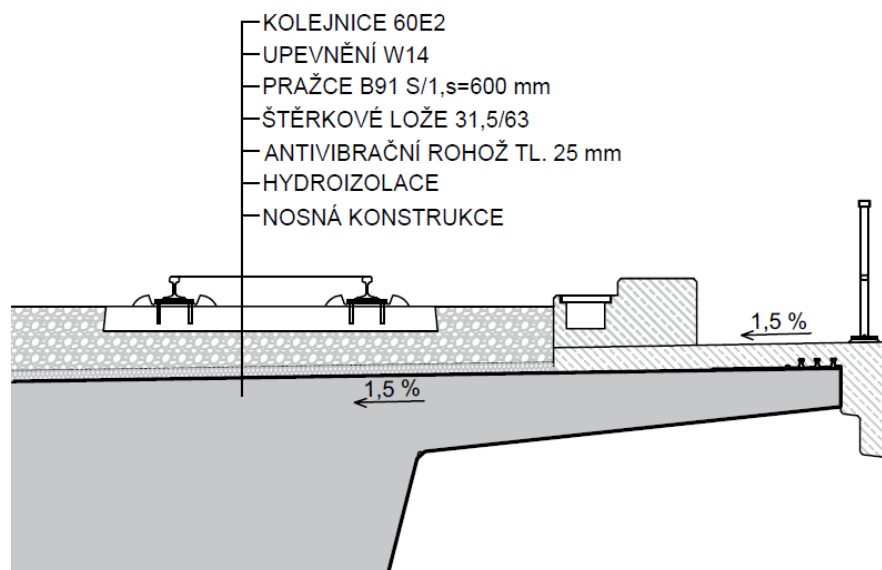
Na mostě bude instalováno ocelové trubkové zábradlí opatřené nátěrem. Zábradlí není navrženo pro chodce, protože na mostě se nepředpokládá provoz chodců.

Uložení bylo navrženo na všesměrná posuvná hrncová ložiska FREYSSINET TETRON CD/GL a na jednosměrně posuvná hrncová ložiska FREYSSINET TETRON CD/GG. Ložiska jsou navržena pouze nad dvěma krajními opěrami. Ostatní tři mezilehlé pilíře jsou spojeny s vrchní stavbou rámově. Schéma posuvného uložení na koncích mostu na obrázku:



### 4 ŽELEZNIČNÍ SVRŠEK

Byly použity kolejnice 60E2 s upevněním W14. Dále betonové pražce B91 S/1 s osovou vzdáleností  $s = 600$  mm. Kolejové lože ze štěrku frakce 31,5/63. Pod kolejovým ložem antivibrační rohož a 2 vrstvy izolace z polyesterového rouna tloušťky 10 mm.



## 5 MATERIÁL

### 5.1 BETON

Pevnostní třída betonu C30/37 použita na nosnou konstrukci a mezilehlé pilíře. Třída prostředí XF2 a konzistence čerstvého betonu je S2. Na úložný práh je použita třída betonu C30/37, třída prostředí XC4 a na zbytek krajních opěr použita třída betonu C25/30, třída prostředí XC4, XC2.

### 5.2 BETONÁŘSKÁ VÝZTUŽ

Na celé konstrukci je použita betonářská výztuž B500B. V nosné konstrukci jsou navrženy profily  $\varnothing 16$  a  $\varnothing 25$ . Celková hmotnost výztuže pro nosnou konstrukci je 216,24 t.

### 5.3 PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽ

Pro celou konstrukci byl zvolen předpínací systém VSL. Byla navržena předpínací lana Y 1860 S7 - 15,7 - A každé tvořeno 7 dráty. Jako ochrana kabelů byly zvoleny ocelové kanálky VSL průměru  $\varnothing 115$  mm s cementovou injektáží. Ke kotvení předpínací výztuže byly zvoleny aktivní kotvy VSL E. Celá konstrukce obsahuje 20 kabelů. Celková délka 440 lan je 81 287,8 m.

## 6 ZATÍŽENÍ

### 6.1 STÁLÉ

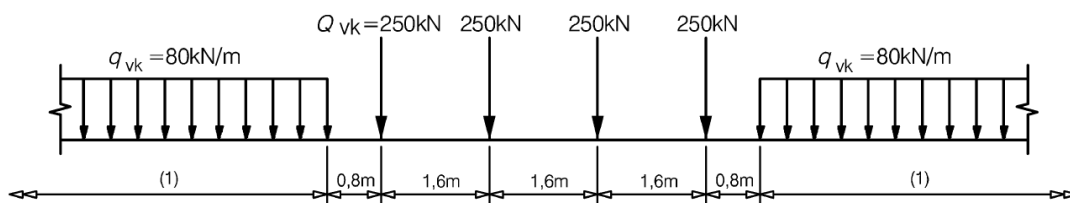
Ve stálém zatížení byla uvažována vlastní tíha nosné konstrukce vygenerovaná softwarem. Dále ostatní prvky mostu, které se budou vyskytovat na mostě po celou dobu jeho životnosti jako kolejové lože, betonové pražce, kolejnice s upevňovacími, izolace, zábradlí, římsy. Do stálého zatížení bylo také uvažováno sednutí podpor.

### 6.2 PROMĚNNÉ

V proměnném zatížení je uvažováno zatížení teplotou, staveništní zatížení, zatížení větrem a zatížení dopravou.

Pro konstrukci na trati 1. třídy byly použity modely zatížení podle ČSN EN 1991-2. LM71 pro normální železniční dopravu na hlavních železničních tratích. Model SW/0 reprezentuje statický účinek svislého zatížení normální železniční dopravou na spojitě nosníky. Model SW/2 pro těžké zatížení kolejovou dopravou na vybraných železničních tratích. Dále byla konstrukce zatížena brzdnými a rozjezdovými silami, bočním rázem a pro výpočet účinků větru byl použit model zatížení "nezatížený vlak".

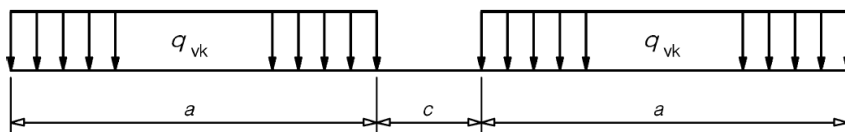
Model zatížení LM71:



Legende

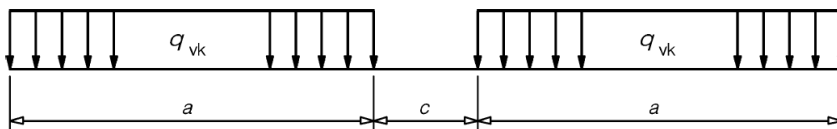
1 keine Begrenzung

Model zatížení SW/0:



Lastmodell	$q_{vk}$ in kN/m	$a$ in m	$c$ in m
SW/0	133	15,0	5,3

Model zatížení SW/2:



Lastmodell	$q_{vk}$ in kN/m	$a$ in m	$c$ in m
SW/2	150	25,0	7,0

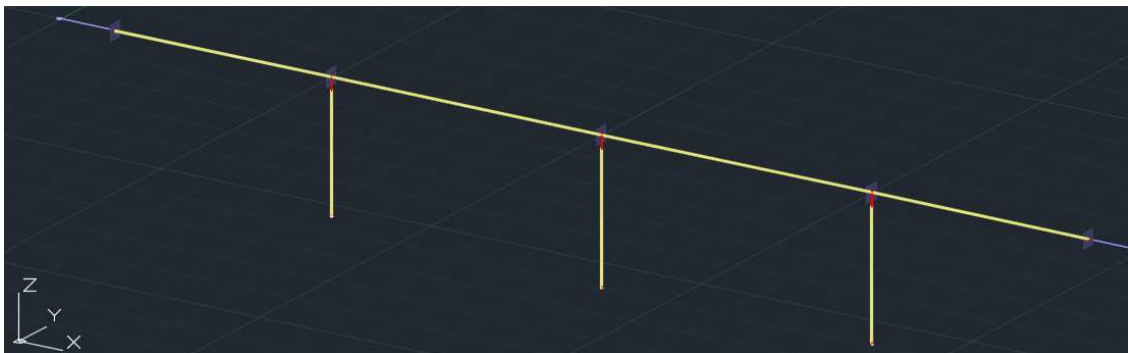
Všechna zatížení jsou umístěna do nejúčinnější polohy. Podrobněji je zatížení stanoveno v příloze P4 Statický výpočet.

## 7 PRUTOVÝ MODEL

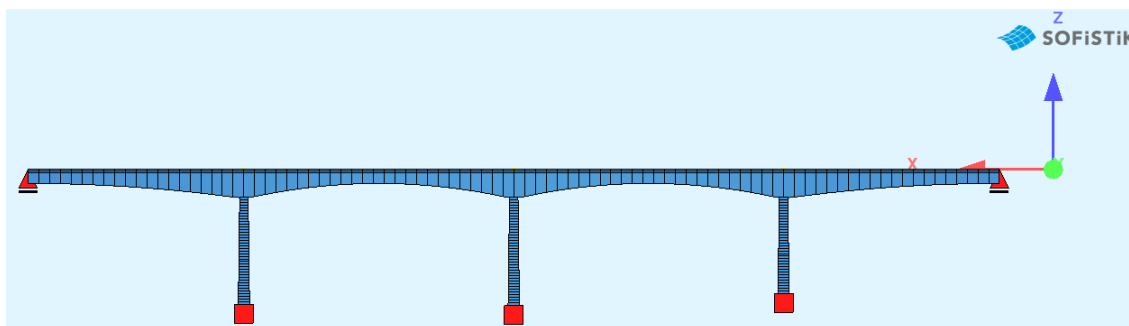
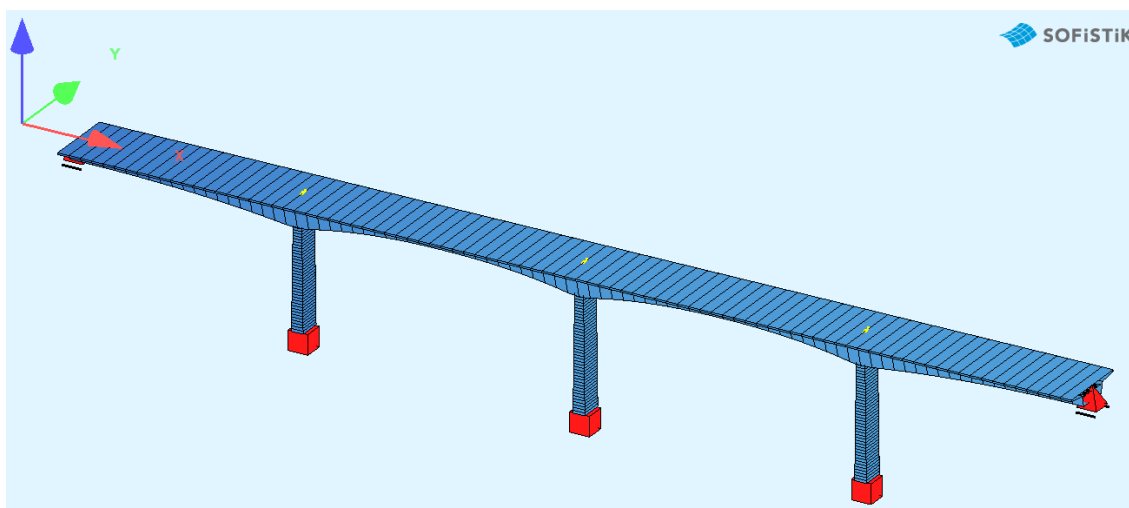
Pro statický výpočet byl použit prutový model. Jako software pro výpočet vnitřních sil a ztrát předpětí byl zvolen SOFiSTiK.

Mostovka byla modelována jako prut o proměnném průřezu se zarovnáním k horním vláknům. Tři mezilehlé pilíře byly taktéž modelovány jako pruty o proměnném průřezu a připojeny rámově k mostovce. Na obou koncích bylo použito pevné podepření posuvné ve směru  $x$ .

Prutový model:

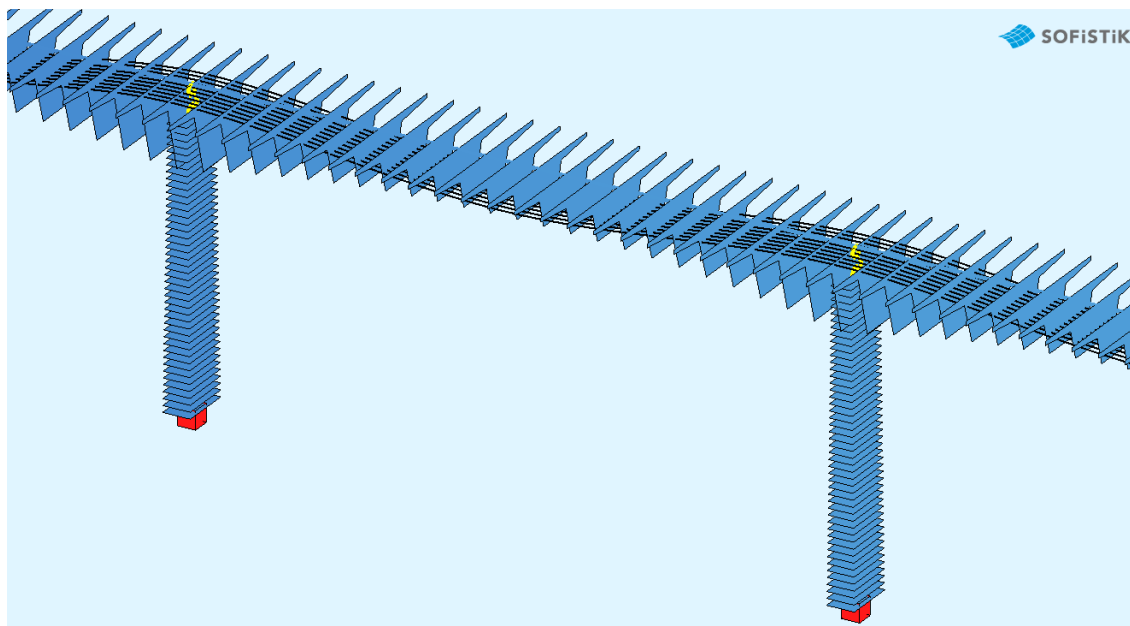


Model s proměnným průřezem a zobrazení uložení:



Pro určení ztrát předpětí byly v konstrukci namodelovány také předpínací kabely. Tyto ztráty byly potom použita dále ve statickém výpočtu.

Poloha předpínacích kabelů v modelu:

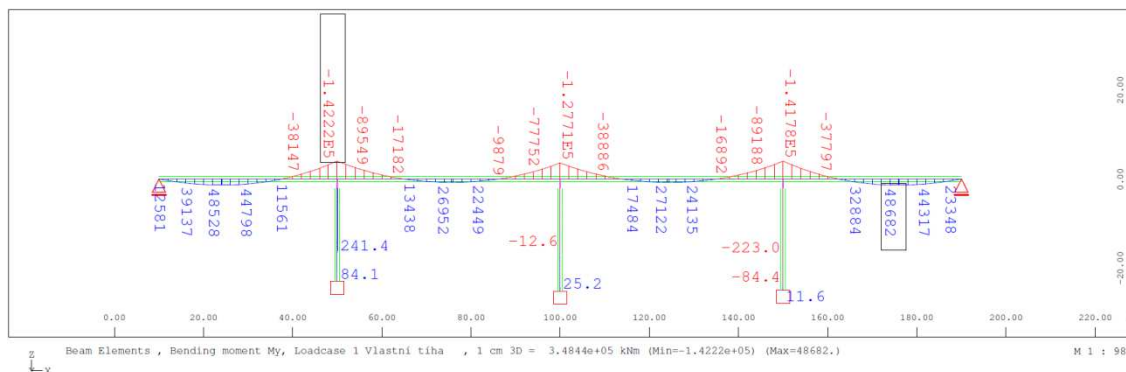


## 8 VNITŘNÍ SÍLY

Z prutového modelu uvedeného výše byl získán soubor vnitřních sil, ze kterých byly následně provedeny kombinace. Kombinace byly pro větší přehlednost zadány ručně v textovém editoru SOFiStiK Teddy do programu MAXIMA.

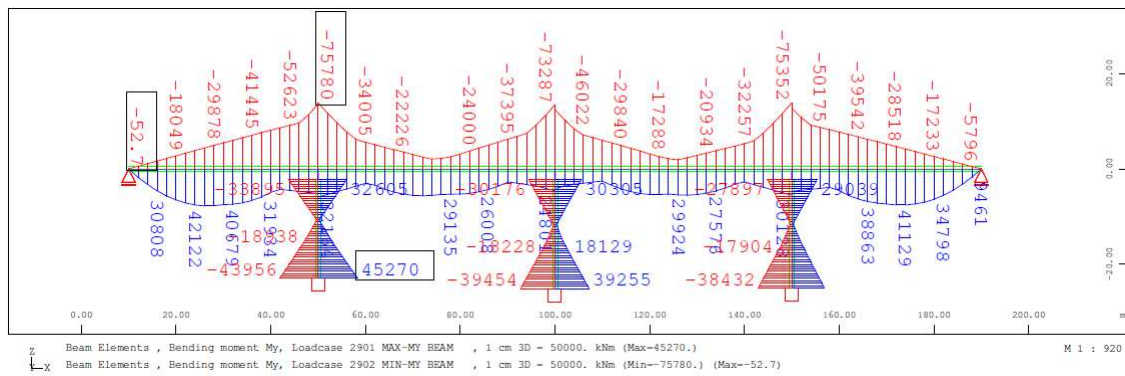
Kombinace pro dopravu byly vytvořeny podle ČSN EN 1991-1 tab. 6.11. Kombinace pro mezní stavy použitelnosti a mezní stavy únosnosti byly vytvořeny podle ČSN EN 1990.

Moment  $M_y$  od vlastní tíhy:

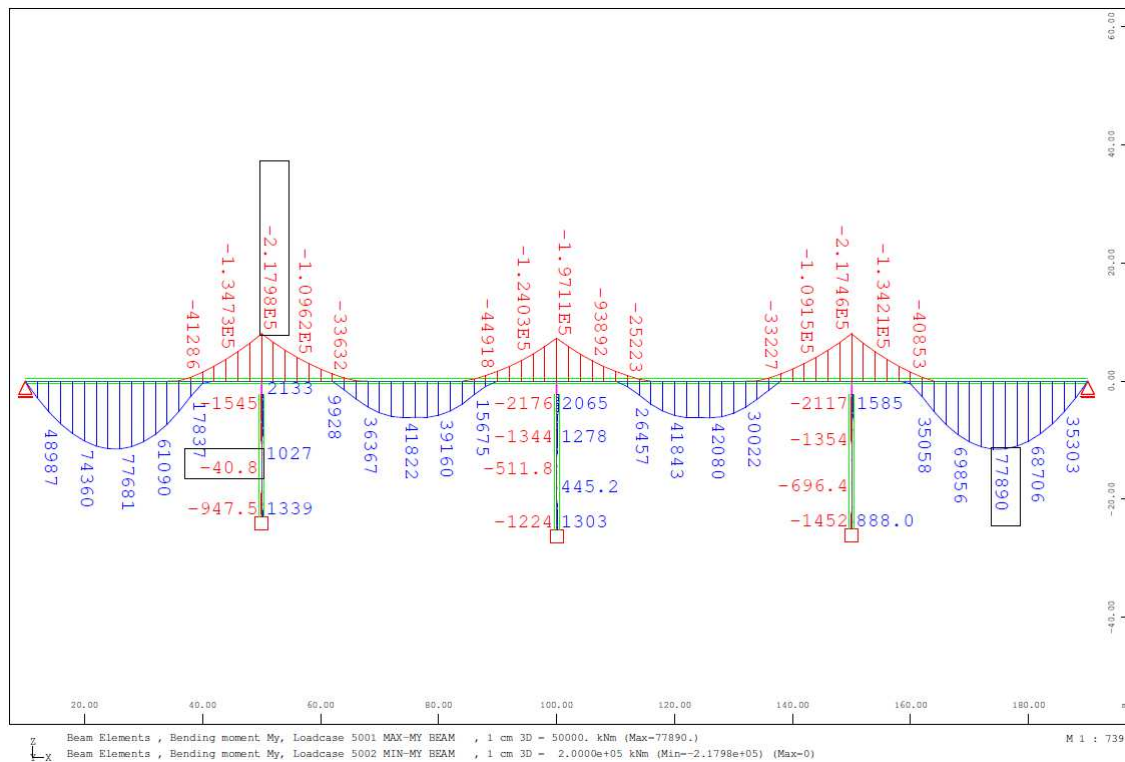




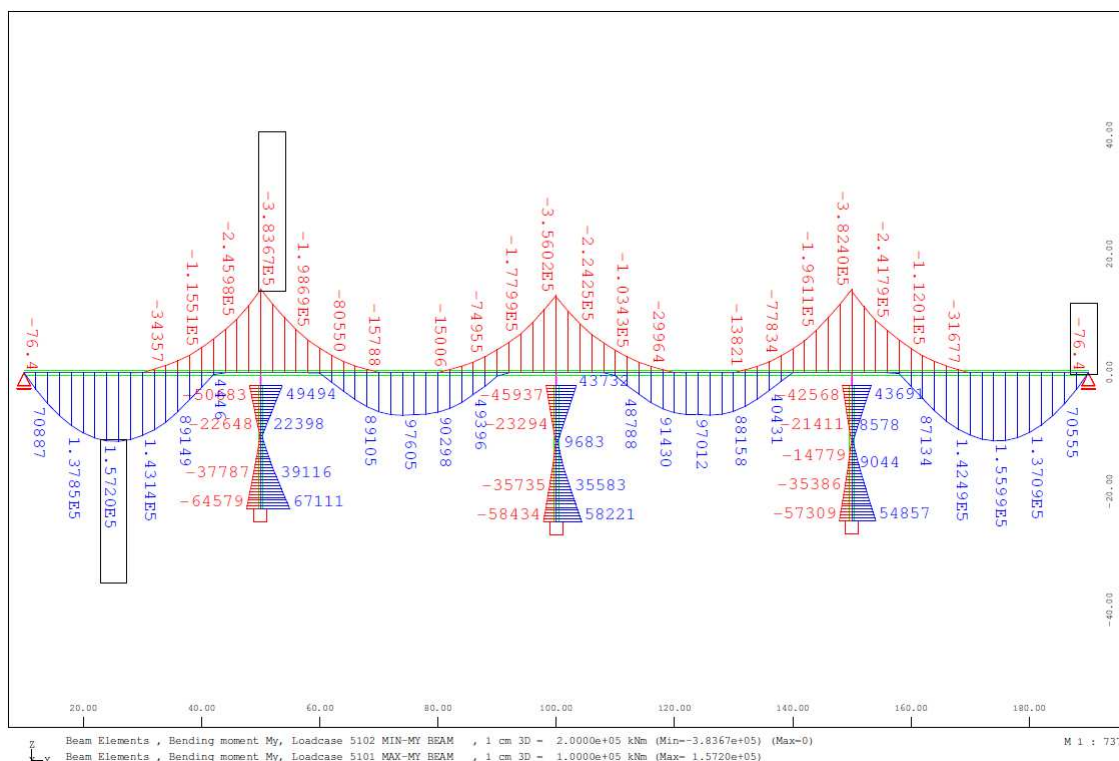
Obálka momentu  $M_y$  od dopravy:



Kombinace ULS  $t_0$  ( $M_y$ ):



Kombinace ULS  $t_{00}$  ( $M_y$ ):



Podrobný výpis zatěžovacích stavů, kombinací a vnitřních sil viz příloha P5 - Kombinace a vnitřní síly.

## 9 POSTUP VÝPOČTU A POSUDKY

Z prutového modelu byly zjištěny ztráty předpětí a následně navržen počet lan a předpínací síly. Byly zjištěny vnitřní síly od ekvivalentního zatížení od předpětí, které byly dále použity vy výpočtech.

Jako další byl ověřen mezní stav použitelnosti. Byly provedeny posudky pro omezení normálového napětí v betonu, napětí v předpínací výztuži a posudek pro omezení trhlin a deformace.

Dále bylo provedeno posouzení pro mezní stav únosnosti a dimenzování betonářské výztuže. Nosná konstrukce byla posuzována ve třech místech s extrémním namáháním. Uprostřed rozpětí pole 2, nad podporou a v místě

největšího namáhání v poli 1. Také byly posouzeny rámově připojené pilíře v hlavě i v patě.

Pro posudek na smyk a kroucení bylo zatížení umístěno do nejnepříznivější polohy. Byly získány vnitřní síly, na které byla navržena výztuž.

Příčný směr byl řešen na samostatném modelu konzoly. Bylo umístěno zatížení působící na konzolu a získány vnitřní a navržena výztuž.

Dále byl proveden posudek na rezonanci. Z programu SOFiSTiK byla získána první vlastní ohybová frekvence, která byla posouzena podle diagramu 6.10 z ČSN EN 1991-2. Podle posudku není konstrukce náchylná na rezonanci a nevyžaduje se další dynamický výpočet.

Jako další byl proveden posudek průhybu pro ověření pohody cestujících. Průhyb od LM71 byl porovnán s mezním průhybem pro pohodu cestujících velmi dobrou, podle diagramu z ČSN EN 1990. Průhyb vyhověl pro pohodu cestujících velmi dobrou.

Také byl proveden posudek na únavu. V ČSN EN 1991-1, v příloze D najdeme řadu modelů zatížení dopravou pro únavu. Rozhodující ale je, které zatížení se nejvíce podobá skutečné dopravě na železniční trati. Toto zatížení může také zadat investor nebo správce tratě. V této diplomové práci žádné takovéto zatížení na únavu zadáno nebylo, proto bylo zvoleno pro únavu jako nejvíce reprezentativní zatížení modelem LM71. V programu IDEA StatiCa byl spočítán rozkmit napětí ve výztuži od LM71 a posouzen s mezní hodnotou rozkmitu.

Na závěr byla nadimenzována kotevní oblast a posouzeno nadzvednutí z ložisek.

## 10 POSTUP VÝSTAVBY A ČASOVÝ HARMONOGRAM

Jako způsob výstavby byla zvolena betonáž na pevné skruži. Konstrukce bude postupně podskružena a vybetonována po částech.

Časový harmonogram:

Doba ošetřování betonu	7 dní
Předepnutí konstrukce	28 dní
Zatížení svrškem	210 dní
Zatížení dopravou	270 dní
Životnost konstrukce	36500 dní (100 let)

## 11 ZÁVĚR

Cílem práce bylo navržení nové mostní konstrukce převádějící železniční trať přes údolí. Z profilu terénu byla navržena délka přemostění a z průjezdného průřezu šířka nosné konstrukce. Na prutovém modelu byly zjištěny vnitřní síly a navrženy rozměry průřezu, dále byl proveden také návrh předpětí. Byly určeny krátkodobé ztráty předpětí a konstrukce byla posouzena na mezní stavy použitelnosti a únosnosti. V obou případech vyhověla. Posléze byla provedena kontrola rezonance, průhybu pro ověření pohody cestujících a také byl proveden posudek na únavu. Návrh a posouzení vycházelo z ČSN EN 1992.

Pro most byla vypracována výkresová dokumentace. Pro most a jeho nejbližší okolí byla také vypracována vizualizace v programu SketchUp a LUMION 3D.

## 12 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

ČSN EN 1991-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 2: Zatížení mostů dopravou, Český normalizační institut, 2005. 152s.

ČSN EN 1992-2 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 2: Betonové mosty – Navrhování a konstrukční zásady, Český normalizační institut, 2007. 90s.

NEČAS, Radim. Projektování mostních objektů. Dokument [online]. Dostupné z: <http://www.necasradim.cz/BL12/prednasky/TISK%2004%20-%20Prostorova%20uprava.pdf>

ZICH, Miloš. *Příklady posouzení betonových prvků dle eurokódů*. Praha: Dashofer, 2010, 145 s. ISBN 978-80-86897-38-7.

Anon, (2018). [online] Available at: [http://file:///C:/Users/Dejva/Downloads/Post-Tensioning\\_solutions\\_EN.pdf](http://file:///C:/Users/Dejva/Downloads/Post-Tensioning_solutions_EN.pdf) [Accessed 3 Jan. 2018].

s.r.o., C. (2018). *Hrncová mostní ložiska TETRON CD | FREYSSINET CS, a.s.* [online] Freyssinet.cz. Available at: [http://www.freyssinet.cz/203-hrncova\\_mostni\\_loziska\\_tetron\\_cd](http://www.freyssinet.cz/203-hrncova_mostni_loziska_tetron_cd) [Accessed 3 Jan. 2018].



## 13 SEZNAM PŘÍLOH

### P1 - VARIANTY ŘEŠENÍ

P1.1 - VARIANTA 1 - RÁMOVÁ KONSTRUKCE

P1.2 - VARIANTA 2 - KOMOROVÝ NOSNÍK

P1.3 - VARIANTA 3 - DVOUTRÁM

### P2 - VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE

P2.1 - PŮDORYS

P2.2 - PODÉLNÝ ŘEZ 1

P2.3 - PODÉLNÝ ŘEZ 1

P2.4 - PŘÍČNÉ ŘEZY

P2.5 - SCHÉMA PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽE

P2.6 - SCHÉMA BETONÁŘSKÉ VÝZTUŽE 1

P2.7 - SCHÉMA BETONÁŘSKÉ VÝZTUŽE 2

P2.8 - SCHÉMA BETONÁŘSKÉ VÝZTUŽE 3

P4.9 - SCHÉMA BETONÁŘSKÉ VÝZTUŽE 4

### P3 - VIZUALIZACE

### P4 - STATICKÝ VÝPOČET

### P5 - KOMBINACE A VNITŘNÍ SÍLY